

Vysoká škola Báňská – Technická univerzita Ostrava
Institut dopravy

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Institut dopravy

Analýza reakčních dob řidiče v provozu silničního vozidla

Analysis of Reaction Times of Road
Vehicle Driver

Student:

Petr Bienek

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jaromír Široký, Ph.D.

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Institut dopravy

Zadání bakalářské práce

Student: **Petr Bienek**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2301R003 Dopravní technika a technologie
Téma: **Analýza reakčních dob řidiče v provozu silničního vozidla**
Analysis of Reaction Times of Road Vehicle Driver
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Cílem práce je navrhnout postupy zjišťování reakčních dob řidičů a vlivu provozních situací na velikost těchto dob. Pro vybrané situace realizovat experimentální zjišťování.

Osnova:

1. Úvod.
2. Analýza vlivu provozního prostředí na reakční dobu řidiče a možností jejího ovlivnění.
3. Návrh postupu zjišťování reakčních dob řidičů při použití dostupných technických prostředků (RaceLogic, videozáznam a jiné).
4. Návrh a realizace experimentu pro zjišťování reakčních dob řidičů pro vybrané podmínky.
5. Technické zhodnocení výsledků.
6. Závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:

- BRADÁČ, Albert. *Soudní inženýrství*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 1997. ISBN 80-7204-057-X.
- BRADÁČ, Albert, Miroslav KLEDUS a Pavel KREJČÍŘ. *Soudní znaleství*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2010. ISBN 978-80-7204-704-8.
- Soudní inženýrství: časopis pro soudní znaleství v technických a ekonomických oborech*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 1990-. ISSN 1211-443X.
- ŠIROKÝ, Jaromír. *Mechanika v dopravě I: kolejová vozidla*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2004. ISBN 80-248-0536-7.
- ŠIROKÝ, Jaromír. *Mechanika v dopravě II: příklady*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2006. ISBN 80-248-1252-5.
- PerformanceBox Manual.
- FRIČ, Jindřich a Vladislav KŘIVDA. Multimedia tool for organization and controlling of traffic. *Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské - Technické univerzity Ostrava*. Řada strojní b. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2006, 52(1), 51-54. ISSN 1210-0471.

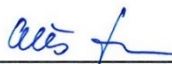
Vysoká škola Báňská – Technická univerzita Ostrava
Institut dopravy

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jaromír Široký, Ph.D.**

Datum zadání: 21.12.2018

Datum odevzdání: 20.05.2019



doc. Ing. Aleš Slíva, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 20.května 2019




.....
Podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména S 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a S 60 (Školní dílo),
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská — Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užít tuto závěrečnou bakalářskou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (Š 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této bakalářské práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- beru na vědomí, že — podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů — že tato bakalářská práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce, a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 20. května 2018


.....
Podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce:

Petr Bienek

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Nový Jičín, Loučka, Mlýnská 306

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Tato práce rozebírá reakční doby řidiče a vlivy provozních situací na velikost těchto dob. Cílem je navrhnout postup pro zjišťování reakčních dob a poté realizovat experimentální měření pro vybrané situace. Skutečná technicky možná délka reakční doby je rozhodující činitel při posuzování průběhů a příčin nehodových dějů.

Klíčová slova

Reakční doba; optická reakce; svalová reakce; psychická reakce; reakční podnět; provozní podmínky

ANOTATION OF BACHELOR THESIS

This thesis analyses reaction times and influences of road traffic situations regarding these reaction times. The goal is to propose a procedure for detecting reaction times and then implement an experimental measuring for selected situations. Real technically possible reaction time is deciding factor in judging courses and causes of traffic accidents.

Key words

Reaction time; optical reaction; muscle response; psychic reaction; reaction initiative; operating conditions

1	ÚVOD.....	8
1.1	PŘÍČINY NEHOD	8
2	ZRAK	10
3	INFORMACE O REAKČNÍ DOBĚ:	10
3.1	OPTICKÁ REAKCE ŘIDIČE	11
3.2	PSYCHICKÁ REAKCE ŘIDIČE	12
3.3	SVALOVÁ REAKCE.....	12
	PRODLEVA BRZD.....	12
	DOBA NÁBĚHU	12
	CELKOVÁ DOBA ODEZVY VOZIDLA.....	13
4	FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ REAKCI ŘIDIČE	14
4.1	ALKOHOL	15
4.2	SVĚTELNÉ PODMÍNKY PROSTŘEDÍ	16
4.3	OSLNĚNÍ.....	17
4.4	ÚNAVA.....	17
5	NÁVRH POSTUPU ZJIŠŤOVÁNÍ REAKČNÍCH DOB ŘIDIČŮ PŘI POUŽITÍ DOSTUPNÝCH TECHNICKÝCH PROSTŘEDKŮ – OBECNÁ METODIKA.....	17
5.1	VYMEZENÍ REAKČNÍHO PODNĚTU	18
5.2	STANOVENÍ MĚŘENÉ REAKČNÍ DOBY	18
5.3	POPIS POUŽITÉHO TECHNICKÉHO ZAŘÍZENÍ	18
5.4	NÁVRH ZAŘÍZENÍ PRO VYTVOŘENÍ OPTICKÉHO PODNĚTU A ZÁZNAM NÁSLEDNÝCH REAKCÍ ŘIDIČE	20
	22	
5.5	VYMEZENÍ PROVOZNÍCH PODMÍNEK PROSTŘEDÍ.....	23
6	REALIZACE EXPERIMENTU.....	24
6.1	ZJIŠŤOVÁNÍ ODEZVY ŘIDIČE NA OPTICKÝ PODNĚT ZA STANOVENÝCH PROVOZNÍCH PODMÍNEK.....	26
7	TECHNICKÉ ZHODNOCENÍ A ZOBECNĚNÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ	33
7.1	ZHODNOCENÍ REAKČNÍ DOBY – POROVNÁNÍ BRZDĚNÍ V RÁMCI SKUPIN.....	33
7.2	ZHODNOCENÍ REAKČNÍCH DOB – POROVNÁNÍ BRZDĚNÍ MEZI SKUPINAMI	37
7.3	ZHODNOCENÍ REAKČNÍCH DOB – POROVNÁNÍ SEŠLÁPNUTÍ SPOJKY MEZI SKUPINAMI.....	39
8	ZÁVĚR	41
9	PŘEHLED POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	43
10	SEZNAM OBRÁZKŮ	45
11	SEZNAM TABULEK A GRAFŮ	45

1 Úvod

V posledních letech s neustále se zvyšující intenzitou dopravy roste také počet dopravních nehod. V roce 2010 bylo podle statistik Ministerstva dopravy [1] v České republice registrováno 4 496 232 osobních automobilů a do roku 2015 tato hodnota vzrostla na 5 115 316 osobních automobilů, jedná se tedy o téměř 14% nárůst za 5 let. Pro rozbor funkce člověka v systému Č-V-P (člověk, vozidlo, prostředí) je nezbytně nutné znát možnosti a meze člověka. Tyto meze (doby) je potřeba znát z hlediska posuzování jednání účastníků dopravní nehody (nejčastěji řidiče) a stanovení, zdali je jeho jednání ještě normální anebo vadné. Mezi tyto časové prvky patří délka reakční doby, která je určitým způsobem závislá na prostředí [2]. Hlavním cílem této práce je určit a posoudit reakční doby řidiče za různých vlivů prostředí a stanovit, zda jsou provoz ohrožující.

1.1 Příčiny nehod

Dopravní nehoda je předem neočekávaná kolize dvou a více dopravních prostředků, který přímo souvisí s pohybem vozidla po silniční komunikaci. Podle ustanovení § 47 odst. 1 zákona č. 361/2000 Sb., o silničním provozu, je dopravní nehoda definována takto:

„Dopravní nehoda je událost v provozu na pozemních komunikacích, například havárie nebo srážka, která se stala nebo byla započata na pozemní komunikaci a při níž dojde k usmrcení nebo zranění osoby nebo ke škodě na majetku v přímé souvislosti s provozem vozidla v pohybu.“

Podle statistik policie ČR nehodovost za posledních 10 let vzrostla, naopak míra smrtelných dopravních nehod je nižší. Tyto statistické údaje zahrnují pouze nehody vyšetřované policií ČR.

Pro tvorbu následujících tabulek jsou použity data ze statistického souboru Ročenka nehodovosti na pozemních komunikacích v České republice v roce 2017, která je získána z webových stránek policie ČR. [3] Tyto tabulky se týkají období leden-červen roku 2017.

Pořadí	Příčiny	Počet nehod
1.	řidič se plně nevěnoval řízení vozidla	16 901
2.	nesprávné otáčení nebo couvání	9021
3.	nedodržení bezpečné vzdálenosti za vozidlem	8106
4.	jiný druh nesprávné jízdy	7830
5.	nepřízpůsobení stavu vozovky	6741
6.	nezvládnutí řízení vozidla	4774
7.	nedání přednosti upravené značkou "DEJ PŘEDNOST V JÍZDĚ"	4176
8.	vyhýbání bez dostatečného odstupu	3990
9.	nepřízpůsobení rychlosti dopravně technickému stavu vozovky	3972
10.	vjetí do protisměru	2738

Tabulka 1 Příčiny nehod za rok 2017

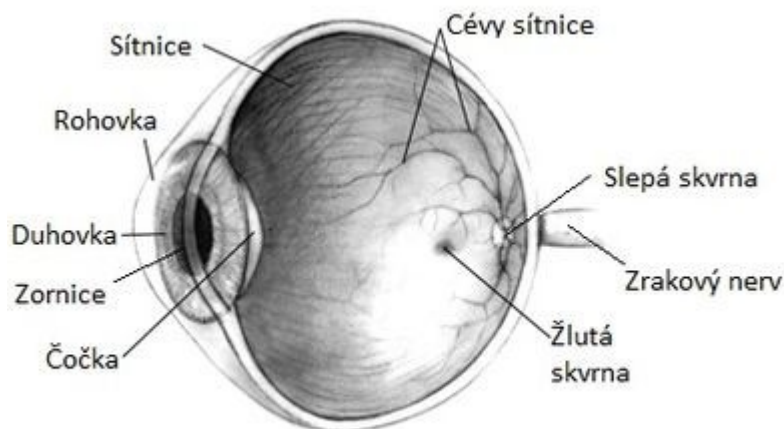
Pořadí	Zavinění nehody	Počet nehod	Počet usmrčených
1.	řidičem motorového vozidla	41 454	208
2.	řidičem nemotorového vozidla	1 150	14
3.	chodcem	583	4
4.	jiným účastníkem	75	0
5.	závadou komunikace	192	0
6.	technickou závadou komunikace	211	0
7.	lesní, domácí zvěř	5699	1
8.	jiné zavinění	244	1

Tabulka 2 Příčiny smrtelných nehod za rok 2017

Z tabulky 1 je patrné, že největší měrou se na nehodovosti podílí situace, kdy se řidič plně nevěnuje řízení vozidla, tedy věnuje řízení nízkou pozornost. Za rok 2017 je to přesně 24,76 % nehod. Tento nežádoucí jev úzce souvisí s reakční dobou řidiče, protože ta nastane až jakmile řidič zpozoruje nebezpečný objekt ve svém zorném poli, nebo jej vnímá jiným smyslovým systémem. Většina nehodových situací vzniká při takové jízdě, která nedovoluje řidiči včas reagovat na vzniklou nebezpečnou situaci. Z tabulky 2 je patrné, že největší měrou se na smrtelných nehodách podílí řidiči motorových vozidel, z toho bylo 150 úmrtí zaviněno řidiči osobního automobilu.

2 Zrak

V silniční dopravě je většina informací z okolí získávána pomocí zraku, proto je z ohledu vnímání nebezpečí v silničním provozu nejdůležitějším smyslem. Smyslovým orgánem umožňující mozku zpracovat optický vjem je oko. Oblast v oku citlivá na dopadající světelné paprsky se nazývá sítnice, což je oblast tvořená fotoreceptorickými buňkami tyčinky a čípky, které jsou na sítnici rozloženy s různou hustotou. Největší množství čípků, buněk citlivých na barvy, se nachází v oblasti nazývané žlutá skvrna, proto je v této části sítnice vidění nejostřejší. Z toho vyplývá, že vidění rozdělujeme na centrální a periferní. Lidské oko funguje tak, že pokud je v oblasti periferního vidění zaregistrován neočekávaný pohyb, tak se oko natočí tím způsobem, aby tento obraz dopadal na žlutou skvrnu, tedy do oblasti ostrého vidění. Za účelem co nejlepšího obrazu svého okolí se oko neustále pohybuje [4].

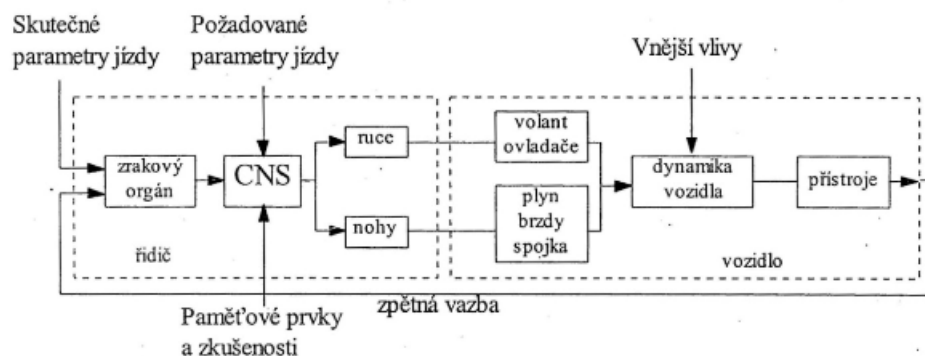


Obrázek 1 řez okem [5]

3 Informace o reakční době:

Reakční doba obecně stanovuje dobu potřebnou k reakci řidiče od zaznamenání podnětu svým smyslovým systémem, nejčastěji se jedná o zrakové pole řidiče.

Reakční doba řidiče je významným faktorem určujícím, jaká bude brzdná vzdálenost vozidla, nebo zda se řidič dokáže vyhnout nebezpečí. Zjednodušeně je to významný činitel potřebný k vyhnutí se kolizní situaci. Ke každé krizové situaci vedoucí k možnosti nehody je její vznik vázán k podnětu řidiče, doby rozhodování řidiče a doby reakce řidiče. Tato problematika byla obecně zpracována na následujícím blokovém schématu:



Obrázek 2 systém řidič-vozidlo [6]

Podle práce Bradáče [7] a jeho kolegů je definice reakční doby takováto: „*Reakční dobou ze soudně inženýrského hlediska nazýváme čas od vjemu do uvedení (zabezpečovacího) zařízení v činnost naučeným způsobem. V neobvyklých situacích, bez naučeného způsobu, bude potřebná doba individuálně delší.*“ Zjednodušeně je reakční čas doba uplynulá od registrace podnětu po počátek reakce. Se zvyšující se úrovní vědeckého poznání v oblasti provozu silničních vozidel roste snaha objektivně stanovit skutečně technicky možnou délku reakční doby. Reakční doba řidiče se skládá z podsložek optická reakce řidiče, psychická reakce řidiče a svalová reakce. Po uplynutí reakční doby nastává odezva vozidla, která je různá podle rozhodnutí řidiče brzdit anebo změnit směr jízdy.

3.1 Optická reakce řidiče

Je to časový úsek potřebný k zaznamenání objektu pomocí zrakových orgánů. Pro bezpečnou jízdu řidiče platí požadavek neustálého řízení vozidla „v budoucnu“, to znamená mít před vozidlo rozhled na takovou vzdálenost, aby na ni byl řidič schopný zastavit z dané rychlosti (patří do ní i dráha ujetá za dobu trvání reakční doby). Řidič přitom sleduje objekty ve svém zorném poli a zároveň vyhodnocuje jejich nebezpečnost vztahenou ke své jízdě. Po shledání, že objekt pro jízdu není nebezpečný, přesune svou pozornost na další objekty. V případě, že se tento objekt opět začne jevit jako nebezpečný, musí jej řidič znovu vyhodnotit. Jeden úhlový stupeň je přibližný rozsah ostrého vidění kolem osy oka, všechny ostatní objekty jsou zpozorovány viděním periferním. Pokud je objekt mimo rozsah ostrého vidění a je zaznamenán periferně, oko se musí natočit směrem k objektu. V této situaci se pohybuje objekt i vozidlo, což komplikuje zaměření oka na objekt. Při pohybu větším než přibližně 5 úhlových stupňů připomíná pohyb oka při zaměřování tlumené kmitání, to znamená vyloučení času optické reakce, pokud kritický objekt řidič přímo nesledoval.

3.2 Psychická reakce řidiče

Doba psychické reakce je vykládána jako čas uplynutý od optického zafixování nebezpečného (kritického) objektu po fyzický výstup, tedy začátek svalové reakce. V tomto případě se tím rozumí počátek snímání nohy z pedálu akcelerace. Tyto hodnoty byly experimentálně získány ze vzorků řidičů různého stáří, pohlaví, povolání a s lišícími se řidičskými zkušenostmi.

3.3 Svalová reakce

Doba svalové reakce je vykládána jako čas od konce psychické reakce po začátek dotyku brzdového pedálu. Tento čas se dá experimentálně změřit prostřednictvím kontaktu umístěném na brzdovém pedálu. Bylo zjištěno, že doba svalové reakce je částečně závislá na uspořádání pedálů vozidla.

Po ukončení svalové reakce dochází k odezvě vozidla, která se skládá z následujících částí:

Prodleva brzd

Doba prodlevy brzd je doba od sešlápnutí brzdového pedálu po první dotyk pracovních ploch brzdového systému (dotyk brzdových destiček s brzdovým kotoučem, dotek čelistí brzd s bubnem...). Prodleva brzd je závislá několika faktorech. Roli hraje rychlost sešlapování pedálu. U trénovaného řidiče je udávána rychlost 1 m/s a u obyčejného řidiče 0,5 m/s. Druhým faktorem je množství média, které je nutné přepravit od hlavního brzdového válce po válce kolové. U kapalinových brzd je tato prodleva malá vzhledem k nestlačitelnosti kapaliny (tlak je v kapalině všude stejný), u vzduch otlačových brzd je prodleva daná dostatečným natlakováním válce pro překonání odporu elementu vracejícího píst do základní polohy. Čím větší je vůle mezi destičkami a kotouči (čelistmi a bubny), tím více média je třeba přepravit a doba prodlevy brzd se prodlužuje.

Doba náběhu

První dotyk destiček s brzdovým kotoučem (čelistí s bubnem) značí okamžik začátku doby náběhu brzdového účinku. Plný účinek brzdy nastává až v okamžiku, kdy se vymezí vůle v mechanismu brzdy, materiál třecích ploch se stlačuje a je dosaženo ustáleného stavu. Technický znalec v praxi považuje za konec náběhu brzd při nouzovém brždění okamžik, kdy jsou na vozovce zanechávány viditelné stopy po pneumatikách. Toto přizpůsobení je nutné použít pro zpětné odvíjení děje při analýze dopravní nehody.

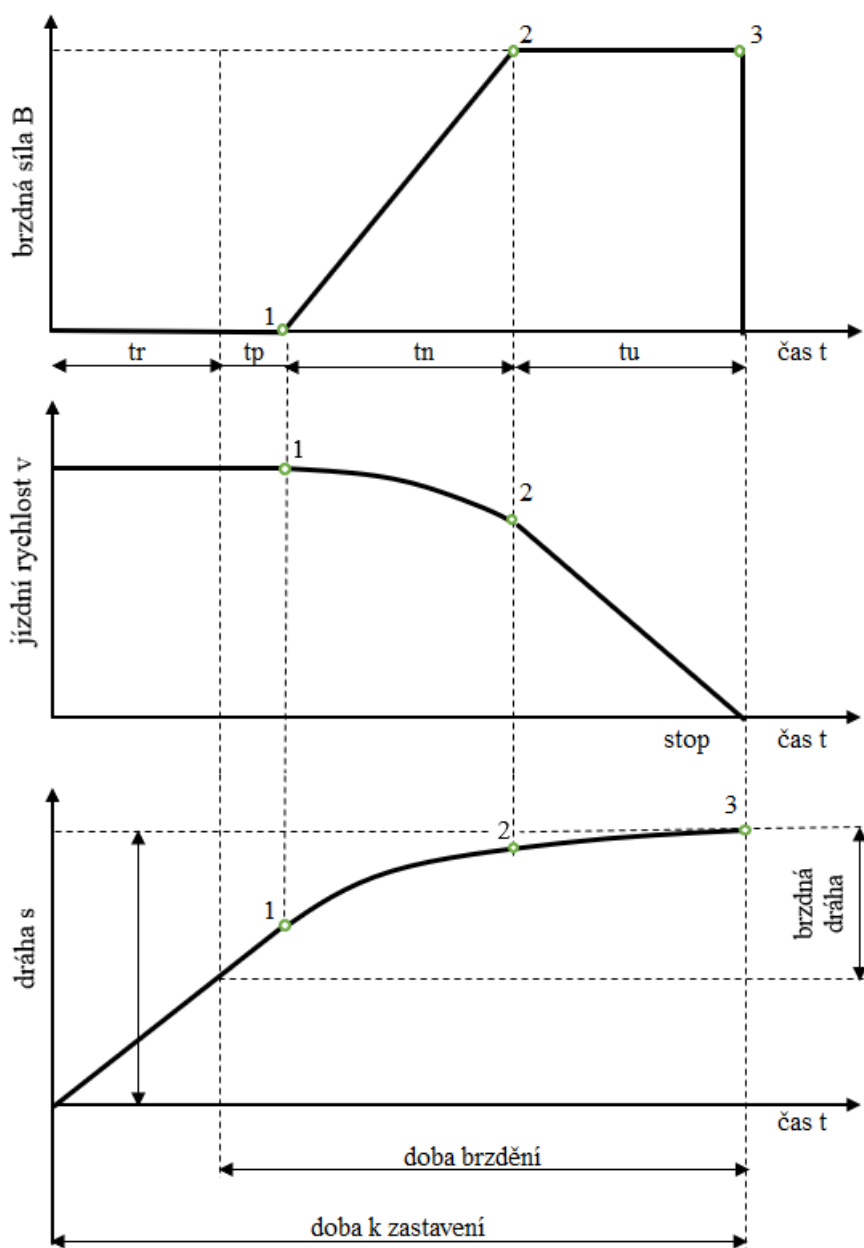
Celková doba odezvy vozidla

Touto problematikou se zabývali němečtí autoři Burg a Rau. Tabulku výsledků měřených brždění, kterou publikovali, vychází z měření 135 osobních automobilů za použití různých pneumatik, na různém povrchu a za různých počátečních rychlostí. V jejich tabulce je zaznamenána délka zanechané stopy a délka dráhy vozidla ujetá za dobu od dotyku brzdového pedálu po konečnou polohu. Dle Bradáče [7] je doba odezvy vozidla při změně směru řízení časově srovnatelná s dobou odezvy vozidla při brždění. Na následující tabulce jsou zobrazeny hodnoty reakčních dob a odezvy vozidla z publikace Bradáče, kterou lze použít jako pomůcku pro výpočty v analýze dopravních nehod.

	Doba trvání (sekund)		
	spodní mez (2 %)	průměr	horní mez (98 %)
Optická reakce (varianty)			
a) řidič předem přímo pozoruje kritický objekt	0	0	0
řidič sleduje jiný objekt			
b) v rozsahu do 5°	0,32	0,48	0,55
c) v rozsahu nad 5°	0,41	0,61	0,7
Psychická reakce (rozhodování)	0,22	0,45	0,58
Svalová reakce (přesun nohy z pedálu na pedál)	0,15	0,19	0,21
Odezva vozidla			
prodleva brzd	0,03	0,05	0,06
náběh brzdného účinku	0,07	0,15	0,49
Odezva celkem	0,1	0,2	0,55
Celkem			
a) přímý pohled	0,47	0,84	0,34
b) v rozsahu do 5°	0,79	1,32	0,89
c) v rozsahu nad 5°	0,88	1,45	2,04

Tabulka 3 Délky úseků reakční doby [7]

Jednotlivé složky reakční doby a odezvy vozidla určují dobu uplynulou od vjemu nebezpečného objektu po okamžik, kdy jsou na vozovce zanechávány brzdné čáry. Na následujícím obrázku je vykreslen do grafů časový průběh reakce řidiče a odezvy vozidla v závislosti na ujeté dráze, jízdní rychlosti a brzdné síle.



Obrázek 3 grafické zobrazení brzdění [8]

Popisky:

t_r – reakční doba řidiče

t_p – doba prodlevy brzd

t_n – doba náběhu brzd

t_u – doba do úplného zpomalení

4 Faktory ovlivňující reakci řidiče

Při každém řízení vozidla působí na řidiče mnoho různých faktorů, které mají přímý dopad na řidičovu pozornost a tím pádem i na reakci s ní spojenou. „Délka reakční doby je různá i u jednoho a téhož člověka. Mění se např. v závislosti na jeho únavě,

připravenosti k určité činnosti a možnosti předvídání určité situace. Mění se také v závislosti na denní době. Svůj vliv má také četnost úkonů v určité době; při monotónní činnosti se reakční doba prodlužuje. Podstatně se také mění reakční doba při snížené viditelnosti (noc, mlha, sněžení) v závislosti na kontrastu objektu, jenž má být pozorován, vůči okolí – při nízkém kontrastu se reakční doba významně prodlužuje“ [7] Tyto faktory jsou stejné pro všechny řidiče, nejvíce se ale projevují u profesionálních řidičů, jelikož většinou řídí delší dobu než obyčejný řidič. Dopravní nehoda je důsledkem zpravidla několika zároveň působících faktorů.

Oblasti faktorů ovlivňující reakce lze rozdělit následně [9]:

- **Faktory z oblasti vnímání** – světelné podmínky, oslnění, zakrytí výhledu a další vlivy (např. znečištění skel)
- **Faktory z oblasti pozornosti** – vliv únavy, odvrácení pozornosti (k předmětům ve vozidle nebo mimo vozidlo), odvrácení pozornosti kvůli navigačním úlohám, vliv ostatních osob ve vozidle, vliv emocí řidiče
- **Faktory z oblasti motoriky** – chyby při použití brzd, vliv pozice rukou na volant
- **Jiné faktory** – věk, doba vlastnění řidičského oprávnění, přivyknutí na vozidlo, vliv denní doby

Na následujících odstavcích jsou podrobněji rozebrány některé specifické faktory ovlivňující reakci řidiče.

4.1 Alkohol

„Významný vliv na délku reakční doby (a také na správnost rozhodování) má také koncentrace alkoholu v krvi, příp. Použití některých léků nebo jiných drog. Hladina alkoholu v krvi 0,5 ‰ bývá bez klinických projevů opilosti, do 1‰ svědčí pro lehkou podnapilost. Nejnebezpečnější je hodnota nad 1‰ (do 1,5 ‰ nazývána jako těžší podnapilost), která vede často k nekritickému sebevědomí při snížené schopnosti.“ [7].

Alkohol patří mezi drogy tlumící, to znamená že zhoršuje schopnost myšlení a také svalovou koordinaci. Tento jev má za následek prodloužení reakční doby, což je v případě řízení automobilu velice nežádoucí. Řidič, který požil alkohol, bude mít v závislosti na hladině alkoholu v krvi opožděné motorické reakce ve srovnání s člověkem, který má hladinu alkoholu v krvi nulovou. Měření reakčních dob v závislosti na koncentraci alkoholu v krvi provedl Ptáček [10], podle jehož výsledků bylo prokázáno, že doba reakce na zrakový podnět se prodlužuje s rostoucí koncentrací alkoholu v krvi.

Na následující tabulce jsou vyčteny různé hladiny alkoholu v krvi a jejich účinek na řízení vozidla. Informace v tabulce jsou převzaty i internetových stránek zabývajících se BOZP (bezpečnost a ochrana zdraví při práci).

Koncentrace alkoholu v krvi	Účinky na řízení
0,2 ‰	Nastává snížení vizuálních funkcí a rozdělení pozornosti
0,5 ‰	Snížení koordinace a schopnosti sledovat pohybující se objekty, snížení schopnosti reagovat na nouzové situace
0,8 ‰	Zhoršuje se koncentrace, regulování rychlosti jízdy, snižuje se schopnost zpracovávat informace
1 ‰	Problémy s udržení pozice v jízdním pruhu, zhoršená schopnost řízení vozidla
1,5 ‰	Výrazné zhoršení schopnosti řídit vozidlo, velmi snížená pozornost a schopnost zpracovávat informace
3 ‰	Není možné řídit
4 ‰	Není možné řídit
5 ‰	Není možné řídit

Tabulka 4 Účinky alkoholu v závislosti na koncentraci v krvi [11]

4.2 Světelné podmínky prostředí

Jedním z rizikových faktorů přispívajících ke vzniku kolizní situace je tma. Na neosvětlených úsecích dopravních komunikací je za tmy znatelně snižena schopnost řidiče rozeznat následující průběh komunikace a ostatní řidiče nebo jiné účastníky dopravního provozu [9]. Doprovázejícím nežádoucím vlivem při jízdě za tmy je oslnění od protijedoucího vozidla.

4.3 Oslnění

Oslnění je jev, ke kterému dochází při rychlé změně jasů anebo prostorovému kontrastu jasů v zorném poli oka a překračují adaptibilitu oka. Oslnění může nastat přímým slunečním svitem, odrazem slunečního svitu ve zpětném zrcátku, odrazem světlometů od vozidla jedoucího vzadu, nebo světlometry protijedoucího vozidla. Rychlost adaptibility oka na světlené podmínky klesá s rostoucím věkem [9].

4.4 Únava

Nebezpečným faktorem ovlivňujícím řidiče je únava, proto pracovní režim řidičů v rámci EU podléhá nařízení ES 561/2006, která upravuje bezpečností přestávky, denní a týdenní doby odpočinku a dobu řízení. První část nařízení o bezpečnostních přestávkách říká, že řidič si musí udělat bezpečností přestávku nejpozději po 4,5 hodinách řízení. Únava řidiče se projevuje prodloužením reakční doby a může vést i mikrosnánku. Únava přichází pozvolna a je jí možné rozpoznat pomocí varovných signálů, mezi které patří například snížení koncentrace, zhoršená ostrost vidění, horší koordinace pohybů, zpomalené dýchání, zívání atd [9]. K mikrosnánku dochází při silné únavě, a podle Mezinárodní klasifikace spánkových poruch je to „*krátká epizoda spánku, která trvá maximálně 30 sekund*“ [12].

5 Návrh postupu zjišťování reakčních dob řidičů při použití dostupných technických prostředků

K provedení měření potřebného k dosažení formulovaného cíle bylo třeba vypracovat obecnou metodiku, skládající se z následujících:

- Vypracování návrhu a zhotovení technického zařízení pro vytváření požadovaného jednoduchého optického podnětu a také zařízení pro spínání obvodu při sešlápnutí pedálu. (pro záznam odezvy je použito zařízení LabJack U12)
- Vymezení reakčního podnětu
- Stanovení měřené reakční doby
- Vymezení provozních podmínek prostředí využitých při měření

5.1 Vymezení reakčního podnětu

Reakčním stimulem, na který bude řidič v tomto experimentu reagovat je jednoduchý optický podnět, který reprezentuje žárovka. Ta je umístěna do zorného pole řidiče tak, že simuluje brzdové světlo vozidla jedoucího vpředu. Cílem řidiče je co nejrychleji sešlápnout brzdový pedál v okamžiku, kdy zaregistruje rozsvícení žárovky. Předmětem měření je i sešlápnutí spojkového pedálu.

5.2 Stanovení měřené reakční doby

Počátek měření nastává v okamžiku rozsvícení světla v zorném poli řidiče, a končí při sešlápnutí brzdového pedálu. Zjištění tohoto okamžiku je umožněno pomocí senzoru připevněného na brzdový pedál, který sepne elektrický obvod při sešlápnutí. Měřena je i doba vyšlápnutí spojky, rozhodující je ovšem brzdový pedál. V tomto případě tedy nehraje žádnou roli technická odezva vozidla, pouze latence měřícího přístroje.

5.3 Popis použitého technického zařízení

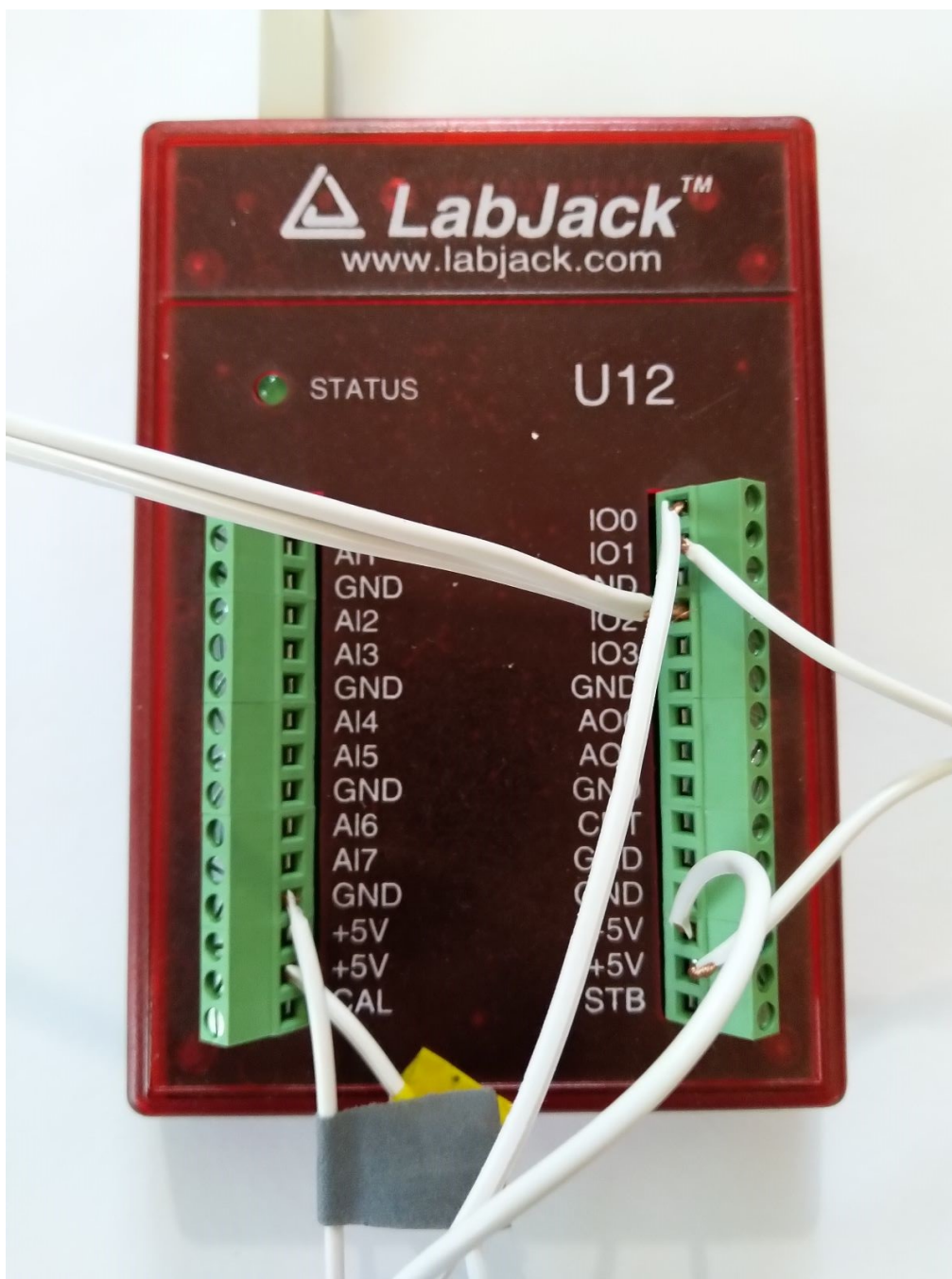
Pro provedení měření je nutné použít zařízení pro záznam vstupních signálů, v tomto případě je použita měřicí karta LabJack U12. Následující informace o měřicí kartě jsou převzaty z webu [14].

LabJack U12 je USB měřicí karta, která disponuje osmi 12bitovými analogovými vstupy a dvěma výstupy a zároveň 20 digitálních vstupů/výstupů. Součástí měřicí karty je 32bitový čítač s možností připojení pomocí USB. Frekvence vstupů/výstupů na 1 kanál je až 50 Hz.

Celý systém je umístěn v plastovém krytování o rozměrech půdorysu 105x155 mm a výšce 25 mm. Zařízení disponuje dvěma konektory, první je konektor typu USB-B, který slouží ke komunikaci s nadřazeným počítačem, zatímco druhý 25 vývodový konektor slouží pro externí připojení Expanderu (zařízení ovlivňující výstupní signál v závislosti na vstupním. Tento konektor slouží i pro přímé aplikace.

Zelená LED na předním panelu slouží pro zobrazení napájení a základních stavů. Tuto LED je možné programově vypnout. Pro všechny signály slouží 2 vyvedené řady šroubovacích konektorů. Celý systém pro napájení využívá PC skrz USB port, proudová dostupnost dosahuje až 500 mA.

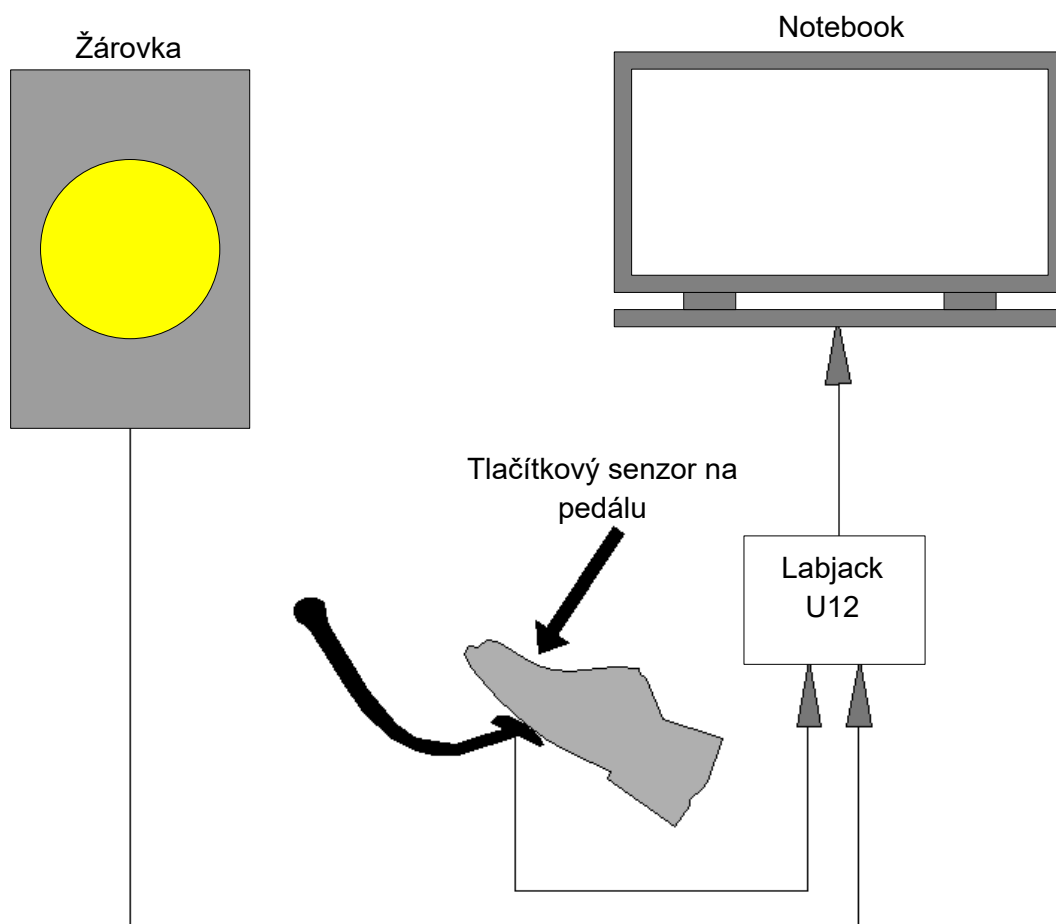
Pro práci s měřicí kartou LabJack U12 byl použit freewarový program DAQFactory Express. Účelem programu pro tuto práci bylo nadefinovat měřené vstupní kanály a naměřené hodnoty vyexportovat do textového formátu.



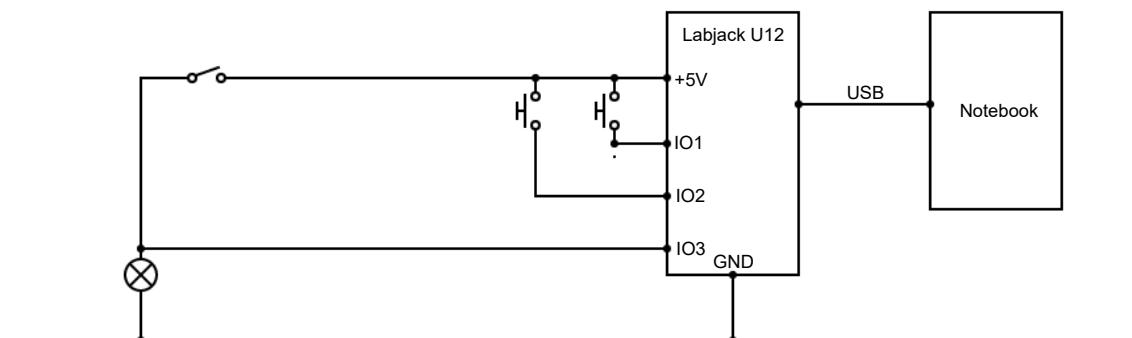
Obrázek 3 LabJack U12, 3 zapojené kanály

5.4 Návrh zařízení pro vytvoření optického podnětu a záznam následných reakcí řidiče

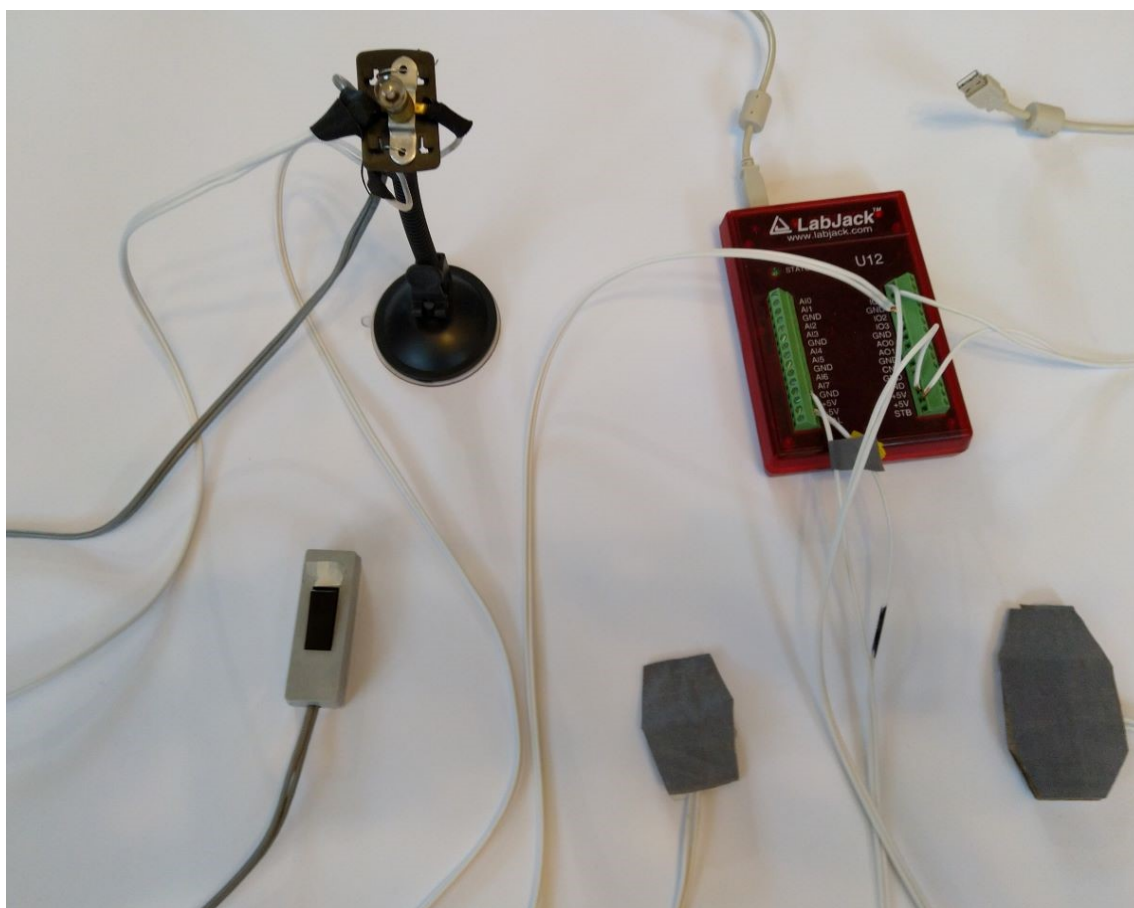
K vytvoření optického podnětu slouží 5V žárovka spínaná jednoduchým jednopólovým spínačem, a která je zapojená jako vstupní kanál do měřicí karty LabJack U12. Další dva vstupní kanály tvoří tlačítkové spínače, které jsou připevněny na brzdový a spojkový pedál a sepnou se při sešlápnutí zmíněných pedálů. Jako zdroj napětí slouží Notebook, ke kterému je LabJack U12 připojen pomocí kabelu USB. Na následujících obrázků je zobrazeno jednoduché schéma měřícího zařízení, elektrický obvod a fotografie.



Obrázek 4 Schéma zapojení senzorů s měřícím zařízením



Obrázek 5 Elektrický obvod senzorů zapojený s měřicím zařízením



Obrázek 6 Měřicí zařízení

Na následující fotografii je vidět umístění měřicího zařízení při průběhu experimentu. Vypínač žárovky je mimo vozidlo a ovládá jej třetí osoba. Z hlediska vedení kabelů se jako nejvýhodnější poloha pro měřící kartu LabJack hodilo sedadlo spolujezdce.



Obrázek 7 Měřicí zařízení při průběhu experimentu

5.5 Vymezení provozních podmínek prostředí

Experiment spočívá v simulaci různých provozních podmínek prostředí (faktorů) a zjišťování jejich vlivu na reakční dobu řidiče. Všechny provozní podmínky jsou navrženy tak, aby měření mohlo probíhat staticky. Všechny měření probíhají za nezhoršených světelných podmínek. Z naměřených hodnot poté zjistíme, do jaké míry různé provozní podmínky ovlivňují řidičovu reakční dobu. Účelem všech předepsaných provozních situací kromě první, kdy se řidič plně soustředí, je snížit pozornost a tím i reakční dobu řidiče. Tyto situace jsou popsány níže:

Řidič je plně soustředěný

Měření probíhá bez simulace faktorů ovlivňujících reakční dobu, řidič se dívá před sebe.

Řidič je pod vlivem alkoholu

Měření probíhá 30 minut po konzumaci takového množství alkoholu, které způsobí danému zkoumanému řidiči hladinu alkoholu v krvi přibližně 0,5 ‰. Množství alkoholu ke konzumaci je spočteno pomocí internetové aplikace dostupné z [14]. Hladina 0,5 ‰ je nutno považovat za odhad, přesná koncentrace alkoholu v krvi se dá zjistit rozbořem krve.

Řidič píše SMS zprávu

Měření probíhá v situaci, kdy má řidič za úkol psát SMS zprávu. Zkoumaná osoba drží mobilní telefon v jedné ruce a průběžně kontroluje svůj výhled z auta, stejně jako v reálném provozu.

Řidič telefonuje

Měření probíhá v situaci, kdy řidič drží u ucha mobilní telefon a soustředí se na probíhající hovor. Skrze telefonní hovor řidič dostává jednoduché otázky a odpovídá na ně. Cílem otázek je snížit pozornost řidiče.

Řidič vykazuje zvýšenou psychickou námahu

Měření probíhá standardně, kdy se řidič dívá před sebe, ale má za úkol odříkat abecedu pozpátku. Tato podmínka má za cíl simulovat psychickou námahu, a tím pádem snížit pozornost.

Řidič je obsluhuje rádio

Měření probíhá v situaci, kdy má řidič za úkol naladit na autorádiu několik rádiových stanic, přitom ale průběžně sleduje výhled, stejně jako v reálném provozu.

6 Realizace experimentu

Celkem je testováno 7 řidičů. 3 muži ve věku mezi 20-30 let, 2 ženy ve věku 30-50 let a 2 muži ve věku nad 60 let. Při simulaci každé z provozních podmínek prostředí probíhá 5 měření. Řidiči jsou testováni na každou provozní situaci podle předepsaného pořadí. Testování pod vlivem alkoholu probíhá na konci testování konkrétního řidiče. Optický signál je dáván žárovkou, kterou spíná třetí osoba nacházející se vně vozidla. Toto opatření slouží k zabránění řidiči reagovat na sluchový podnět způsobený zmáčknutím spínače žárovky. Měří se doba odezvy od rozsvícení světla po sešlápnutí brzdy a doba od rozsvícení světla po sešlápnutí spojky, v některých případech může sešlápnutí brzdy předcházet sešlápnutí spojky nebo naopak, záleží na způsobu brždění testovaného řidiče.

- veličinou Y_1 je doba od rozsvícení světla po sešlápnutí brzdy
- veličinou Y_2 je doba od rozsvícení světla po sešlápnutí spojky
- Průměrná hodnota μ je stejného řádu jako směrodatná odchylka a počítá se dle vzorce:

$$\mu = \bar{x} = \sum_{i=1}^n x_i$$

○ Kde n je počet měření

- Směrodatná odchylka σ je zaokrouhlena nahoru na 2 platné cifry a počítá se dle vzorce:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

- Nejistota typu A u_A vychází z opakovaného měření údajů a vypočítá se dle vzorce:

$$u_{Ax} = S_{\bar{x}} \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

- V našem případě, kdy je počet měření menší než 10, musíme hodnotu u_A korigovat koeficientem k_s dle vzorce:

$$u_{Ax} = k_s \cdot S_{\bar{x}}$$

- Koeficient k_s zjistíme z následující tabulky [15]:

Počet měření n	2	3	4	5	6	7	8	9	> 9
Koeficient k_s	7,0	2,3	1,7	1,4	1,3	1,3	1,2	1,2	1,0

Tabulka 5 Koeficient K_s pro různé počty měření

- Nejistota typu B u_B vychází v našem případě z nepřesnosti měřící techniky. Protože LabJack U12 má výstup na každý kanál s frekvencí 50 Hz, nepřesnost měřícího zařízení je následující:

$$T = \frac{1}{f}$$

$$T = \frac{1}{50} = 0,02 \text{ s}$$

- Kde T je perioda a f frekvence
-
- Kombinovaná standartní nejistota u_C udává interval, ve kterém se s pravděpodobností 68 % [16] nachází správný výsledek. Vypočítá se dle následujícího vzorce:

$$u_{Cx} = \sqrt{u_{Ax}^2 + u_{Bx}^2}$$

6.1 Zjišťování odezvy řidiče na optický podnět za stanovených provozních podmínek

Na následujících stránkách jsou tabulky obsahující naměřené časové úseky pro všechny řidiče za všech zkoumaných provozních podmínek.

Vzorek 1 - muž do 30 let

Měření	Bez simulace		Rádio		SMS	
	Y1 [s]	Y2 [s]	Y1 [s]	Y2 [s]	Y1 [s]	Y2 [s]
1	0,26	0,54	0,43	0,62	0,53	0,62
2	0,32	0,58	0,32	0,53	0,69	0,86
3	0,40	0,61	0,40	0,64	0,51	0,67
4	0,45	0,59	0,42	0,64	0,48	0,59
5	0,54	0,69	0,40	0,56	0,56	0,70
μ	0,394	0,602	0,394	0,598	0,554	0,688
σ	0,098	0,050	0,039	0,045	0,073	0,095
u_A	0,069	0,035	0,027	0,031	0,051	0,066
u_B	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
u_C	0,071	0,040	0,034	0,037	0,055	0,069
Měření	Telefon		Psych. Zátěž		Alkohol	
	Y1 [s]	Y2 [s]	Y1 [s]	Y2 [s]	Y1 [s]	Y2 [s]
1	0,35	0,54	0,53	0,62	0,43	0,69
2	0,34	0,50	0,43	0,58	0,74	0,96
3	0,50	0,59	0,34	0,45	0,50	0,70
4	0,48	0,58	0,40	0,58	0,54	0,82
5	0,35	0,50	0,42	0,56	0,56	0,86
μ	0,404	0,542	0,424	0,558	0,554	0,806
σ	0,071	0,039	0,062	0,058	0,110	0,110
u_A	0,049	0,027	0,043	0,040	0,072	0,071
u_B	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
u_C	0,053	0,033	0,047	0,045	0,075	0,074

Tabulka 6 Měření vzorku 1

Průměrné hodnoty veličin Y1, Y2 včetně kombinované standardní nejistoty

Provozní podmínky	sešlápnutí brzdy [s]		sešlápnutí spojky [s]	
Bez simulace	0,394	$\pm 0,071$	0,602	$\pm 0,040$
Rádio	0,394	$\pm 0,034$	0,598	$\pm 0,037$
SMS	0,554	$\pm 0,055$	0,688	$\pm 0,069$
Telefon	0,404	$\pm 0,053$	0,542	$\pm 0,033$
Psych. zátěž	0,424	$\pm 0,047$	0,558	$\pm 0,045$
Alkohol	0,554	$\pm 0,075$	0,806	$\pm 0,074$

Tabulka 7 Průměrné výsledky reakčních dob vzorku 1

Vzorek 2 - muž do 30 let

Měření	Bez simulace		Rádio		SMS	
	Y1 [s]	Y2 [s]	Y1 [s]	Y2 [s]	Y1 [s]	Y2 [s]
1	0,42	0,59	0,48	0,64	0,70	0,80
2	0,40	0,50	0,46	0,61	0,50	0,64
3	0,51	0,64	0,42	0,51	0,56	0,70
4	0,40	0,56	0,54	0,72	0,72	0,83
5	0,40	0,53	0,45	0,62	0,54	0,67
μ	0,426	0,564	0,470	0,620	0,604	0,728
σ	0,043	0,049	0,040	0,068	0,089	0,075
u_A	0,030	0,034	0,028	0,047	0,062	0,052
u_B	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
u_C	0,036	0,039	0,034	0,051	0,065	0,056
Měření	Telefon		Psych. Zátěž		Alkohol	
	Y1 [s]	Y2 [s]	Y1 [s]	Y2 [s]	Y1 [s]	Y2 [s]
1	0,56	0,66	0,88	0,98	0,75	0,98
2	0,48	0,56	0,40	0,45	0,74	0,86
3	0,61	0,67	0,48	0,58	0,8	1,04
4	0,50	0,59	0,56	0,69	0,91	1,07
5	0,48	0,54	0,40	0,53	0,64	0,9
μ	0,526	0,604	0,544	0,646	0,768	0,970
σ	0,052	0,053	0,180	0,190	0,088	0,080
u_A	0,036	0,037	0,125	0,129	0,062	0,056
u_B	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
u_C	0,041	0,042	0,126	0,131	0,065	0,059

Tabulka 8 Měření vzorku 2

Průměrné hodnoty veličin Y1, Y2 včetně kombinované standardní nejistoty

Provozní podmínky	sešlápnutí brzdy [s]		sešlápnutí spojky [s]	
Bez simulace	0,426	$\pm 0,036$	0,564	$\pm 0,039$
Rádio	0,470	$\pm 0,034$	0,620	$\pm 0,051$
SMS	0,604	$\pm 0,065$	0,728	$\pm 0,056$
Telefon	0,526	$\pm 0,041$	0,604	$\pm 0,042$
Psych. zátěž	0,544	$\pm 0,126$	0,646	$\pm 0,131$
Alkohol	0,768	$\pm 0,065$	0,970	$\pm 0,059$

Tabulka 9 Průměrné výsledky reakčních dob vzorku 2

Vzorek 3 - muž do 30 let

Měření	Bez simulace		Rádio		SMS	
	Y1 [s]	Y2 [s]	Y1 [s]	Y2 [s]	Y1 [s]	Y2 [s]
1	0,48	0,67	0,58	0,82	1,09	1,39
2	0,38	0,58	0,61	0,86	0,85	1,15
3	0,42	0,61	0,56	0,88	0,72	1,04
4	0,40	0,67	0,46	0,74	0,67	1,01
5	0,43	0,72	0,77	1,01	0,82	1,12
μ	0,422	0,650	0,596	0,862	0,830	1,142
σ	0,034	0,050	0,110	0,089	0,150	0,140
u_A	0,024	0,035	0,070	0,062	0,102	0,094
u_B	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
u_C	0,031	0,040	0,073	0,065	0,104	0,096
Měření	Telefon		Psych. Zátěž		Alkohol	
	Y1 [s]	Y2 [s]	Y1 [s]	Y2 [s]	Y1 [s]	Y2 [s]
1	0,74	1,01	0,61	0,99	0,62	0,99
2	0,59	0,86	0,83	1,10	0,69	1,04
3	0,62	0,91	0,62	0,98	0,61	0,94
4	0,62	0,96	0,75	1,07	0,72	1,01
5	0,50	0,80	0,77	1,07	0,72	1,02
μ	0,614	0,908	0,716	1,042	0,672	1,000
σ	0,077	0,074	0,087	0,048	0,048	0,035
u_A	0,054	0,052	0,061	0,034	0,034	0,024
u_B	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
u_C	0,057	0,055	0,064	0,039	0,039	0,031

Tabulka 10 Měření vzorku 3

Průměrné hodnoty veličin Y1, Y2 včetně kombinované standardní nejistoty

Provozní podmínky	sešlápnutí brzdy [s]		sešlápnutí spojky [s]	
Bez simulace	0,422	$\pm 0,031$	0,650	$\pm 0,040$
Rádio	0,596	$\pm 0,073$	0,862	$\pm 0,065$
SMS	0,830	$\pm 0,104$	1,142	$\pm 0,096$
Telefon	0,614	$\pm 0,057$	0,908	$\pm 0,055$
Psych. zátěž	0,716	$\pm 0,064$	1,042	$\pm 0,039$
Alkohol	0,672	$\pm 0,039$	1,000	$\pm 0,031$

Tabulka 11 Průměrné výsledky reakčních dob vzorku 3

Vzorek 4 - muž nad 60 let

Měření	Bez simulace		Rádio		SMS	
	Y1 [s]	Y2 [s]	Y1 [s]	Y2 [s]	Y1 [s]	Y2 [s]
1	0,53	0,67	1,04	1,71	1,06	1,62
2	0,54	0,66	1,06	1,58	0,86	1,44
3	0,67	0,88	0,85	1,42	1,04	1,52
4	0,85	0,9	1,01	1,73	0,98	1,42
5	0,59	1,12	0,67	1,34	0,88	1,33
μ	0,636	0,846	0,926	1,556	0,964	1,466
σ	0,120	0,180	0,150	0,160	0,090	0,098
u _A	0,213	0,285	0,306	0,497	0,306	0,462
u _B	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
u _C	0,214	0,286	0,306	0,497	0,306	0,462
Měření	Telefon		Psych. Zátěž		Alkohol	
	Y1 [s]	Y2 [s]	Y1 [s]	Y2 [s]	Y1 [s]	Y2 [s]
1	0,83	1,38	0,85	1,36	0,8	1,06
2	1,09	1,55	0,9	1,3	0,78	0,96
3	1,1	1,5	1,01	1,42	0,88	1,12
4	0,96	1,39	0,9	1,26	0,61	0,93
5	0,93	1,39	1,12	1,42	0,58	0,85
μ	0,982	1,442	0,956	1,352	0,730	0,984
σ	0,110	0,070	0,098	0,064	0,120	0,096
u _A	0,071	0,049	0,068	0,045	0,081	0,067
u _B	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
u _C	0,074	0,053	0,071	0,049	0,083	0,070

Tabulka 12 Měření vzorku 4

Průměrné hodnoty veličin Y1, Y2 včetně kombinované standardní nejistoty

Provozní podmínky	sešlápnutí brzdy [s]		sešlápnutí spojky [s]	
Bez simulace	0,636	± 0,214	0,846	± 0,286
Rádio	0,926	± 0,306	1,556	± 0,497
SMS	0,964	± 0,306	1,466	± 0,462
Telefon	0,982	± 0,074	1,442	± 0,053
Psych. zátěž	0,956	± 0,071	1,352	± 0,049
Alkohol	0,730	± 0,083	0,984	± 0,070

Tabulka 13 Průměrné výsledky reakčních dob vzorku 4

Vzorek 5 - muž nad 60 let

Měření	Bez simulace		Rádio		SMS	
	Y1 [s]	Y2 [s]	Y1 [s]	Y2 [s]	Y1 [s]	Y2 [s]
1	0,67	0,99	0,83	1,15	0,99	1,38
2	0,54	0,77	0,96	1,25	1,1	1,42
3	0,59	0,9	0,86	1,13	1,1	1,39
4	0,58	0,8	1,39	1,66	0,9	1,15
5	0,62	0,88	0,9	1,17	0,88	1,18
μ	0,600	0,868	0,988	1,272	0,994	1,304
σ	0,050	0,078	0,210	0,200	0,100	0,120
u _A	0,189	0,274	0,338	0,420	0,318	0,415
u _B	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
u _C	0,190	0,275	0,338	0,420	0,319	0,416
Měření	Telefon		Psych. Zátěž		Alkohol	
	Y1 [s]	Y2 [s]	Y1 [s]	Y2 [s]	Y1 [s]	Y2 [s]
1	0,93	1,28	0,72	1,04	1,04	1,41
2	0,93	1,25	0,72	1,02	0,93	1,34
3	0,51	0,78	0,88	1,09	0,9	1,31
4	0,59	0,9	0,77	1,06	0,78	1,15
5	0,69	1,01	0,74	1,02	0,91	1,39
μ	0,730	1,044	0,766	1,046	0,912	1,320
σ	0,173	0,195	0,060	0,027	0,083	0,093
u _A	0,121	0,136	0,042	0,019	0,058	0,064
u _B	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
u _C	0,123	0,138	0,046	0,027	0,061	0,067

Tabulka 14 Měření vzorku 5

Průměrné hodnoty veličin Y1, Y2 včetně kombinované standardní nejistoty

Provozní podmínky	sešlápnutí brzdy [s]		sešlápnutí spojky [s]	
Bez simulace	0,600	± 0,190	0,868	± 0,275
Rádio	0,988	± 0,338	1,272	± 0,420
SMS	0,994	± 0,319	1,304	± 0,416
Telefon	0,730	± 0,123	1,044	± 0,138
Psych. zátěž	0,766	± 0,046	1,046	± 0,027
Alkohol	0,912	± 0,061	1,320	± 0,067

Tabulka 15 Průměrné výsledky reakčních dob vzorku 5

Vzorek 6 - žena do 30 let

Měření	Bez simulace		Rádio		SMS	
	Y1 [s]	Y2 [s]	Y1 [s]	Y2 [s]	Y1 [s]	Y2 [s]
1	0,67	0,99	0,88	1,07	0,75	1,06
2	0,77	1,07	0,96	1,14	1,17	1,5
3	0,43	0,67	0,58	0,74	1,58	1,86
4	0,38	0,62	0,88	1,17	0,82	1,14
5	0,4	0,61	0,94	1,17	1,07	1,41
μ	0,530	0,792	0,848	1,058	1,078	1,394
σ	0,160	0,198	0,138	0,164	0,295	0,285
u_A	0,111	0,138	0,096	0,114	0,206	0,199
u_B	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
u_C	0,113	0,139	0,098	0,116	0,207	0,200
Měření	Telefon		Psych. Zátěž		Alkohol	
	Y1 [s]	Y2 [s]	Y1 [s]	Y2 [s]	Y1 [s]	Y2 [s]
1	0,93	1,26	1,31	1,52	0,99	1,17
2	1,01	1,26	0,86	1,10	0,64	0,85
3	0,77	1,06	1,86	2,11	0,82	1,06
4	0,83	1,04	2,38	2,58	0,93	1,18
5	0,75	0,94	1,46	1,65	0,61	0,74
μ	0,858	1,112	1,574	1,792	0,798	1,000
σ	0,099	0,130	0,520	0,510	0,160	0,180
u_A	0,069	0,089	0,360	0,356	0,106	0,123
u_B	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
u_C	0,072	0,091	0,361	0,357	0,108	0,125

Tabulka 16 Měření vzorku 6

Průměrné hodnoty veličin Y1, Y2 včetně kombinované standardní nejistoty

Provozní podmínky	sešlápnutí brzdy [s]		sešlápnutí spojky [s]	
Bez simulace	0,530	$\pm 0,113$	0,792	$\pm 0,139$
Rádio	0,848	$\pm 0,098$	1,058	$\pm 0,116$
SMS	1,078	$\pm 0,207$	1,394	$\pm 0,200$
Telefon	0,858	$\pm 0,072$	1,112	$\pm 0,091$
Psych. zátěž	1,574	$\pm 0,361$	1,792	$\pm 0,357$
Alkohol	0,798	$\pm 0,108$	1,000	$\pm 0,125$

Tabulka 17 Průměrné výsledky reakčních dob vzorku 6

Vzorek 7 - žena do 30 let

Měření	Bez simulace		Rádio		SMS	
	Y1 [s]	Y2 [s]	Y1 [s]	Y2 [s]	Y1 [s]	Y2 [s]
1	0,43	0,69	0,69	1,02	0,67	1,01
2	0,56	0,9	0,64	0,85	0,72	1,01
3	0,54	0,96	0,66	0,83	0,74	1,04
4	0,45	0,8	0,59	0,91	0,75	1,02
5	0,43	0,64	0,43	0,85	0,7	1,02
μ	0,482	0,798	0,602	0,892	0,716	1,020
σ	0,057	0,122	0,092	0,070	0,029	0,011
u _A	0,039	0,085	0,064	0,049	0,020	0,008
u _B	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
u _C	0,044	0,087	0,067	0,053	0,028	0,021
Měření	Telefon		Psych. Zátěž		Alkohol	
	Y1 [s]	Y2 [s]	Y1 [s]	Y2 [s]	Y1 [s]	Y2 [s]
1	0,67	0,99	0,7	0,96	0,75	1,07
2	0,59	0,82	0,77	1,12	0,50	0,82
3	0,77	0,98	0,91	1,1	0,54	0,90
4	0,48	0,67	0,75	0,94	0,72	0,94
5	0,48	0,67	0,91	1,07	0,46	0,70
μ	0,598	0,826	0,808	1,038	0,595	0,886
σ	0,120	0,150	0,087	0,074	0,120	0,130
u _A	0,078	0,099	0,060	0,052	0,083	0,086
u _B	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
u _C	0,081	0,101	0,064	0,055	0,085	0,089

Tabulka 18 Měření vzorku 7

Průměrné hodnoty veličin Y1, Y2 včetně kombinované standardní nejistoty

Provozní podmínky	sešlápnutí brzdy [s]		sešlápnutí spojky [s]	
Bez simulace	0,482	± 0,044	0,798	± 0,087
Rádio	0,602	± 0,067	0,892	± 0,053
SMS	0,716	± 0,028	1,020	± 0,021
Telefon	0,598	± 0,081	0,826	± 0,101
Psych. zátěž	0,808	± 0,064	1,038	± 0,055
Alkohol	0,595	± 0,085	0,886	± 0,089

Tabulka 19 Průměrné výsledky reakčních dob vzorku 7

7 Technické zhodnocení a zobecnění výsledků měření

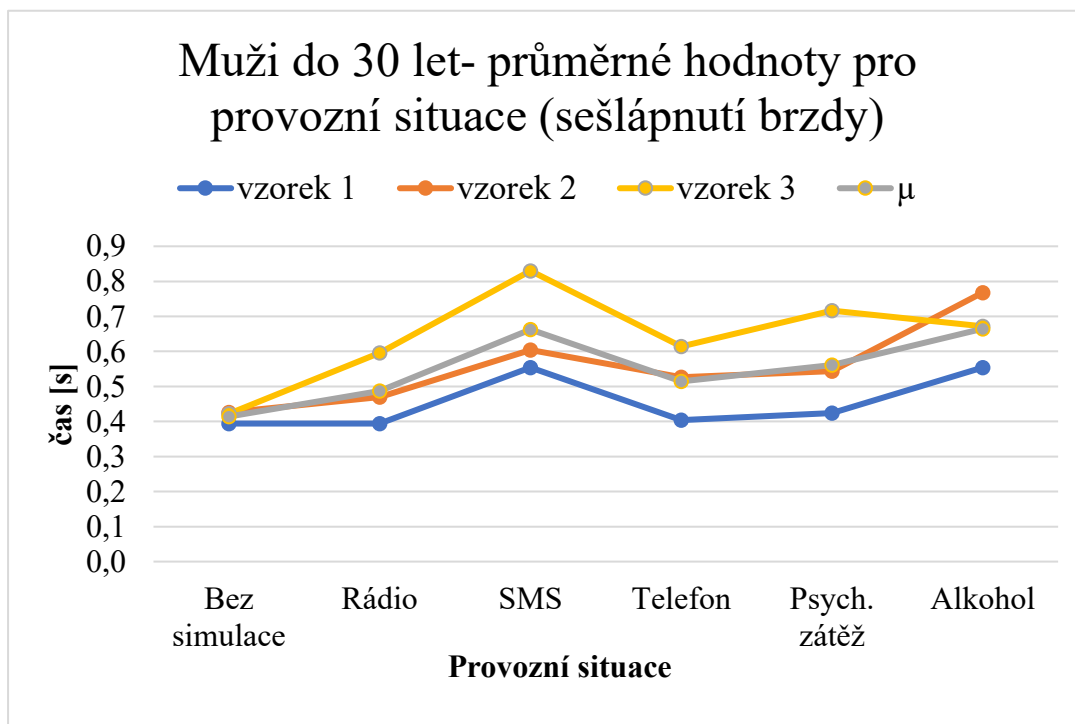
V následujících tabulkách jsou nejprve srovnávány průměrné reakční doby v jednotlivých skupinách a následně graficky zobrazeny. V první části jsou srovnávány doby od rozsvícení žárovky po sešlápnutí brzdového pedálu. V části druhé se nachází tabulka ukazující průměrnou dobu mezi sešlápnutím brzdy a spojky. Tato doba nemá takovou vypovídající hodnotu jako doba do sešlápnutí brzdy, protože jak lze pozorovat z výsledků měření (tabulky z části 5), doba sešlápnutí spojky vždy následovala sešlápnutí brzdy. **Poznámka ke grafům: čas 0 představuje dobu rozsvícení žárovky u grafů číslo 1–5.**

7.1 Zhodnocení reakční doby – porovnání brzdění v rámci skupin

Skupina 1 muži do 30 let – průměrné hodnoty pro brzdění

i	provoz podm.	vzorek 1 [s]	vzorek 2 [s]	vzorek 3 [s]	μ [s]	$n_i - n_{il}$ [s]	v%
1	Bez simulace	0,394	0,426	0,422	0,414	-	-
2	Rádio	0,394	0,470	0,596	0,487	0,073	17,6
3	SMS	0,554	0,604	0,830	0,663	0,249	60,1
4	Telefon	0,404	0,526	0,614	0,515	0,101	24,3
5	Psych. zátěž	0,424	0,544	0,716	0,561	0,147	35,6
6	Alkohol	0,554	0,768	0,672	0,665	0,251	60,5

Tabulka 20 Průměrné hodnoty reakčních dob skupiny 1



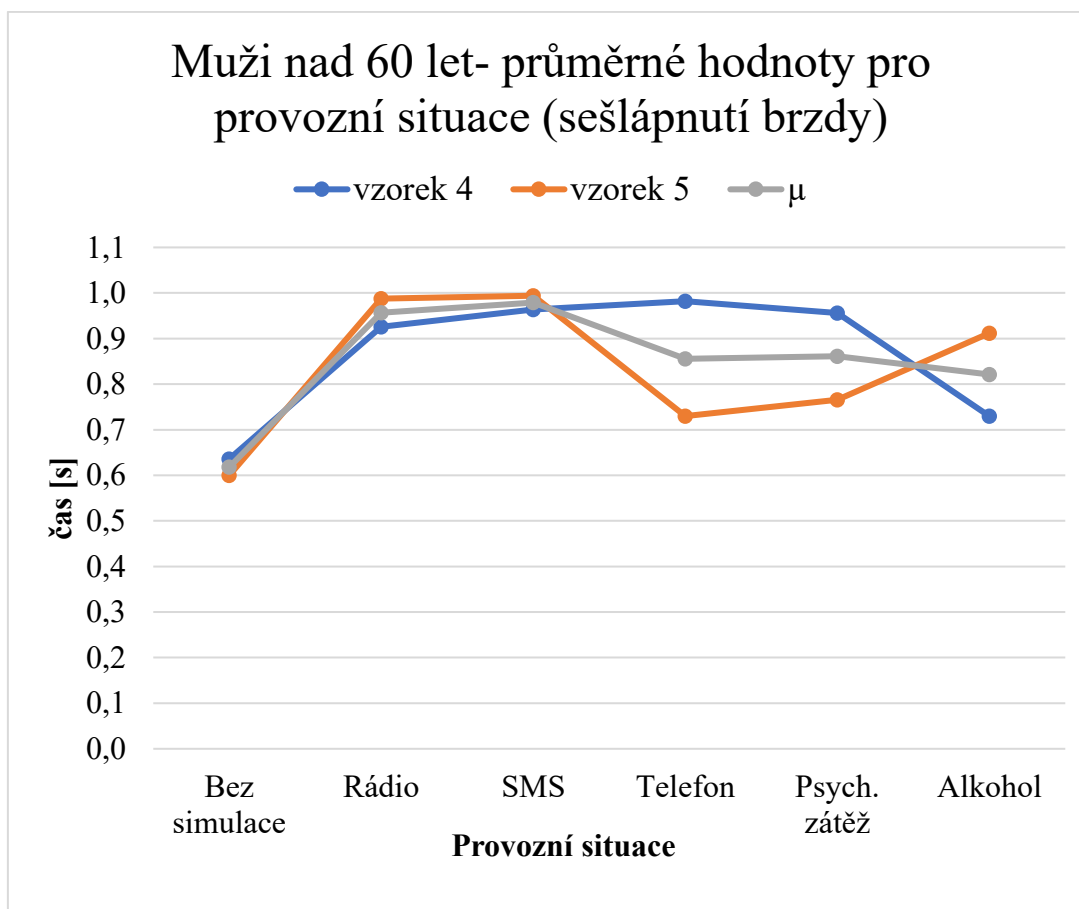
Graf 1 Průměrné hodnoty reakčních dob skupiny 1

Z přiložené tabulky a grafu lze pozorovat, že největší význam na prodloužení reakční doby u mužských řidičů do věku 30 let měl alkohol a psaní SMS zprávy. U alkoholu činilo průměrné zvětšení reakční doby oproti soustředěnému stavu 0,251 sekund, což znamená nárůst o 60,5 %, a u psaní SMS zprávy se tato doba průměrně navýšila o 0,249 s, tedy nárůst o 60,1 %.

Skupina 2 muži nad 60 let – průměrné hodnoty pro brzdění

i	provozní podm.	vzorek 4 [s]	vzorek 5 [s]	μ [s]	$n_i - n_{i1}$ [s]	v%
1	Bez simulace	0,636	0,600	0,618	-	-
2	Rádio	0,926	0,988	0,957	0,339	54,9
3	SMS	0,964	0,994	0,979	0,361	58,4
4	Telefon	0,982	0,730	0,856	0,238	38,5
5	Psych. zátěž	0,956	0,766	0,861	0,243	39,3
6	Alkohol	0,730	0,912	0,821	0,203	32,8

Tabulka 21 Průměrné hodnoty reakčních dob skupiny 2



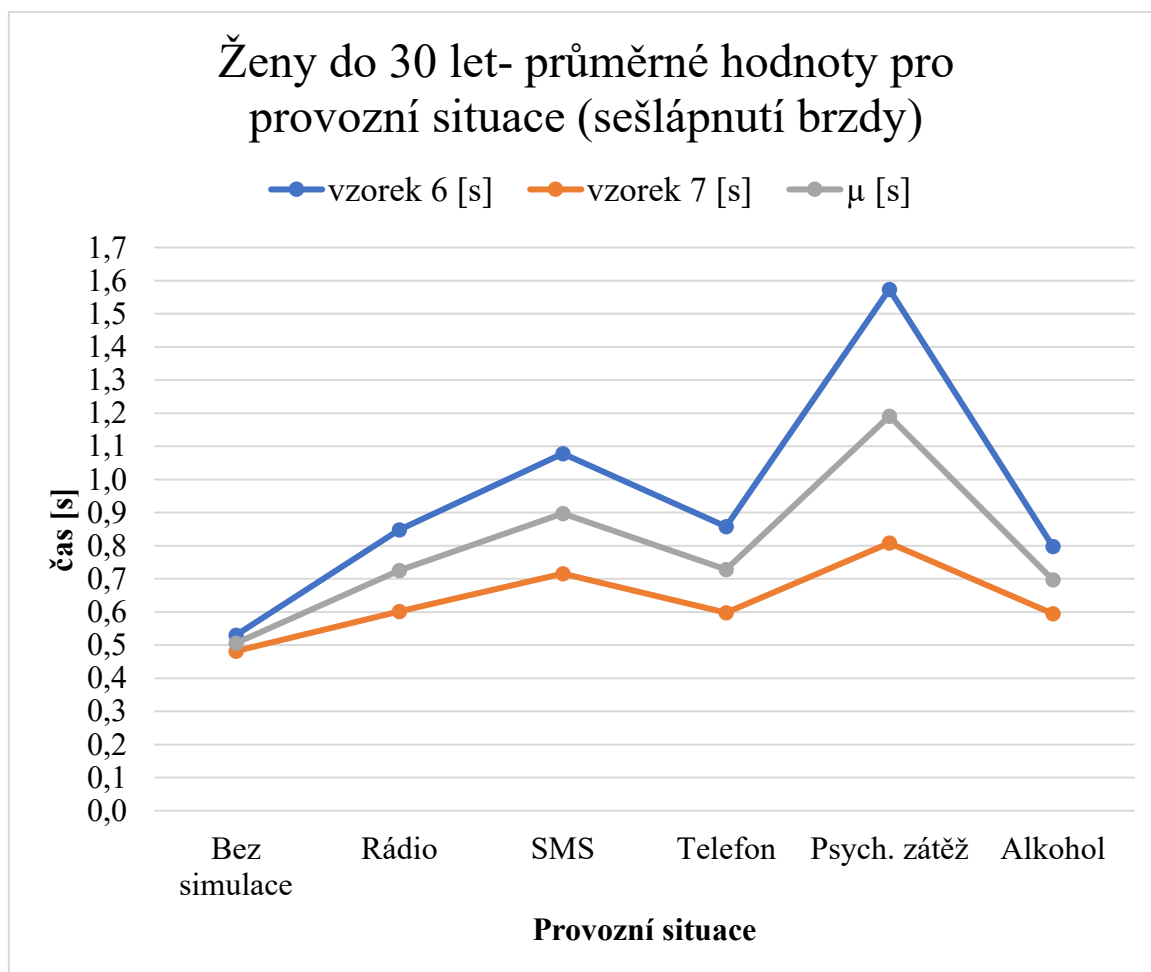
Graf 2 - Průměrné hodnoty reakčních dob skupiny 2

Z přiložené tabulky a grafu lze pozorovat, že největší význam na prodloužení reakční doby u mužských řidičů ve věku nad 60 let byl zjištěn v situacích, kdy řidič obsluhuje rádio anebo když píše SMS zprávu. Při obsluze rádia se průměrná reakční doba oproti soustředěnému stavu prodloužila o 0,339 sekund, což znamená nárůst o 54,9 %, a při psaní SMS zprávy se tato doba prodloužila o 0,361 sekund, tedy nárůst o 58,4 %.

Skupina 3 ženy do 30 let – průměrné hodnoty pro brzdění

i	provozní situace (podmínky)	vzorek 6 [s]	vzorek 7 [s]	μ [s]	$n_i - n_{i1}$ [s]	$v\%$
1	Bez simulace	0,530	0,482	0,506	-	-
2	Rádio	0,848	0,602	0,725	0,219	43,3
3	SMS	1,078	0,716	0,897	0,391	77,3
4	Telefon	0,858	0,598	0,728	0,222	43,9
5	Psych. zátěž	1,574	0,808	1,191	0,685	135,4
6	Alkohol	0,798	0,595	0,697	0,191	37,7

Tabulka 22 průměrné hodnoty reakčních dob skupiny 3



Graf 3 Průměrné hodnoty reakčních dob skupiny 3

Z přiložené tabulky a grafu lze pozorovat, že největší význam na prodloužení reakční doby u ženských řidičů ve věku do 30 let byl zjištěn v situacích kdy řidič píše SMS anebo

když je pod zvýšenou psychickou zátěží. V případě psaní SMS se průměrná reakční doba oproti soustředěnému stavu prodloužila o 0,391 sekund, což znamená nárůst o 77,3 % a při zvýšené psychické zátěži se tato doba prodloužila o 0,685 sekund, tedy nárůst o 135,4 %. Průměrné hodnoty při měření za plného soustředění se téměř neliší, zatímco největší rozdíl mezi dvěma zkoumanými vzorky nastal v při měření za zvýšené psychické zátěže.

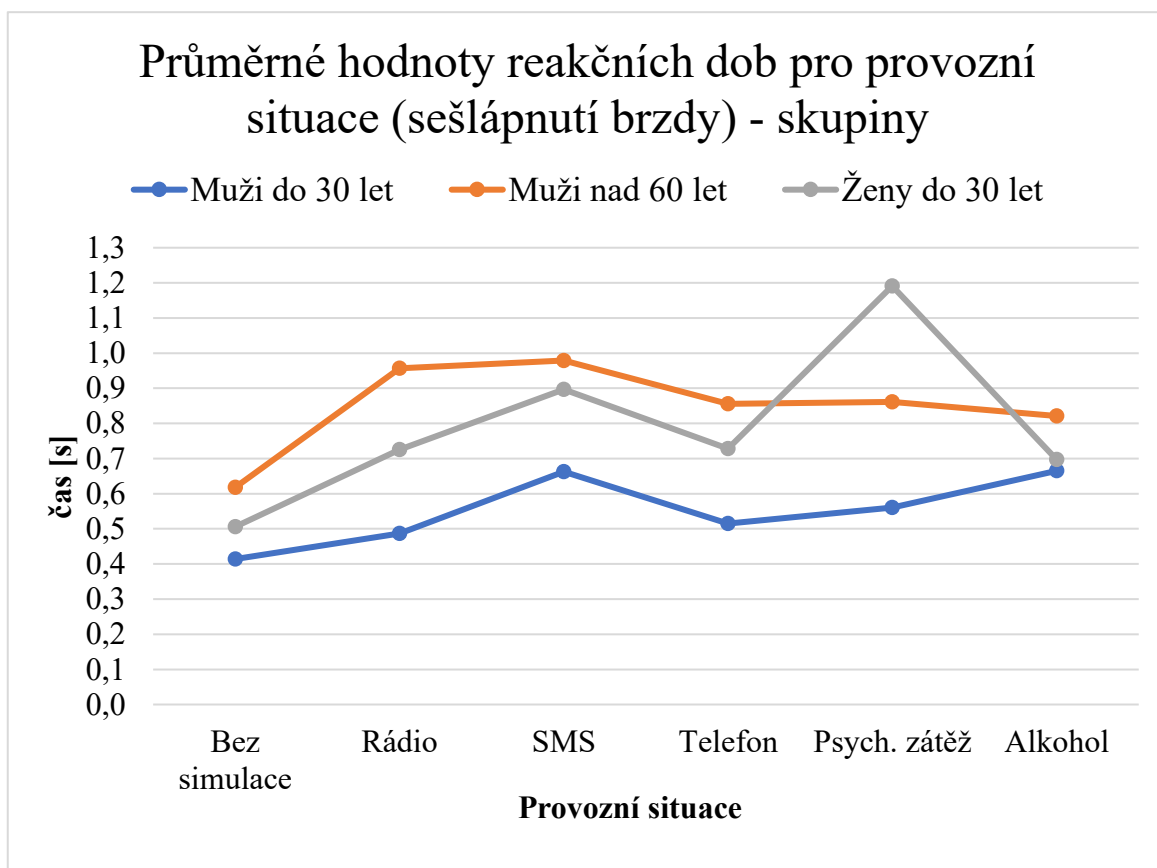
7.2 Zhodnocení reakčních dob – porovnání brzdění mezi skupinami

V následujících tabulkách a grafech jsou zobrazeny průměrné reakční doby mezi třemi zavedenými skupinami řidičů

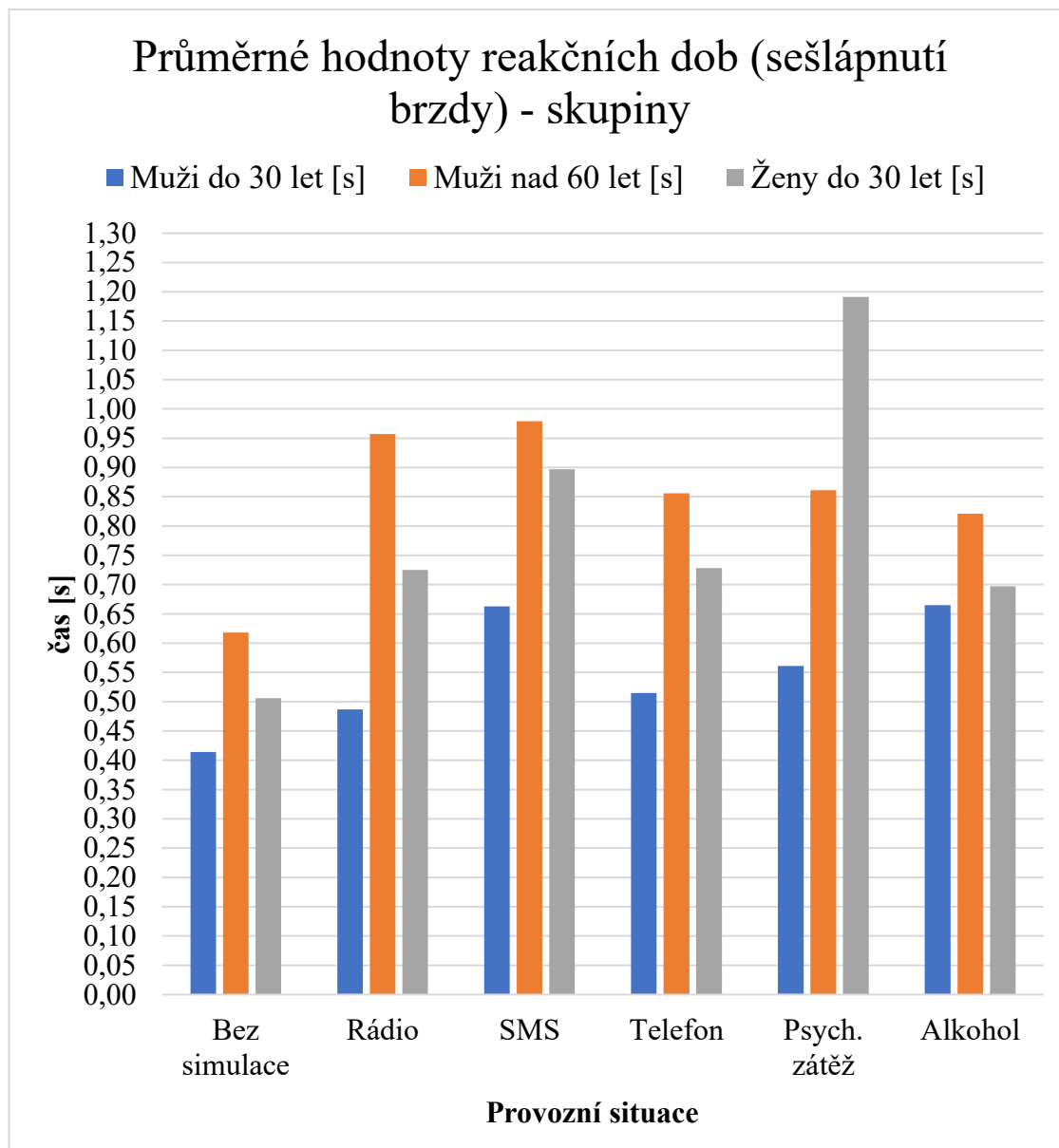
Průměrné hodnoty pro sešlápnutí brzdy – srovnání skupin

i	provoz. podm	Muži do 30 let [s]	Muži nad 60 let [s]	Ženy do 30 let [s]
1	Bez simulace	0,414	0,618	0,506
2	Rádio	0,487	0,957	0,725
3	SMS	0,663	0,979	0,897
4	Telefon	0,515	0,856	0,728
5	Psych. zátěž	0,561	0,861	1,191
6	Alkohol	0,665	0,821	0,697

Tabulka 23 Srovnání průměrných reakčních dob mezi skupinami



Graf 4 Srovnání průměrných reakčních dob mezi skupinami



Graf 5 Srovnání průměrných reakčních dob mezi skupinami – sloupcový

Z přiložené tabulky a grafu vyplývá, že nejrychlejší průměrnou reakční dobu za všech simulovaných podmínek prostředí má skupina mužů do 30 let. Ženy do 30 let mají ve 5 provozních podmínkách průměrnou reakční dobu rychlejší než skupina mužů nad 60, ale v případě zvýšené psychické zátěže vykazuje skupina žen nejpomalejší průměrnou reakční dobu.

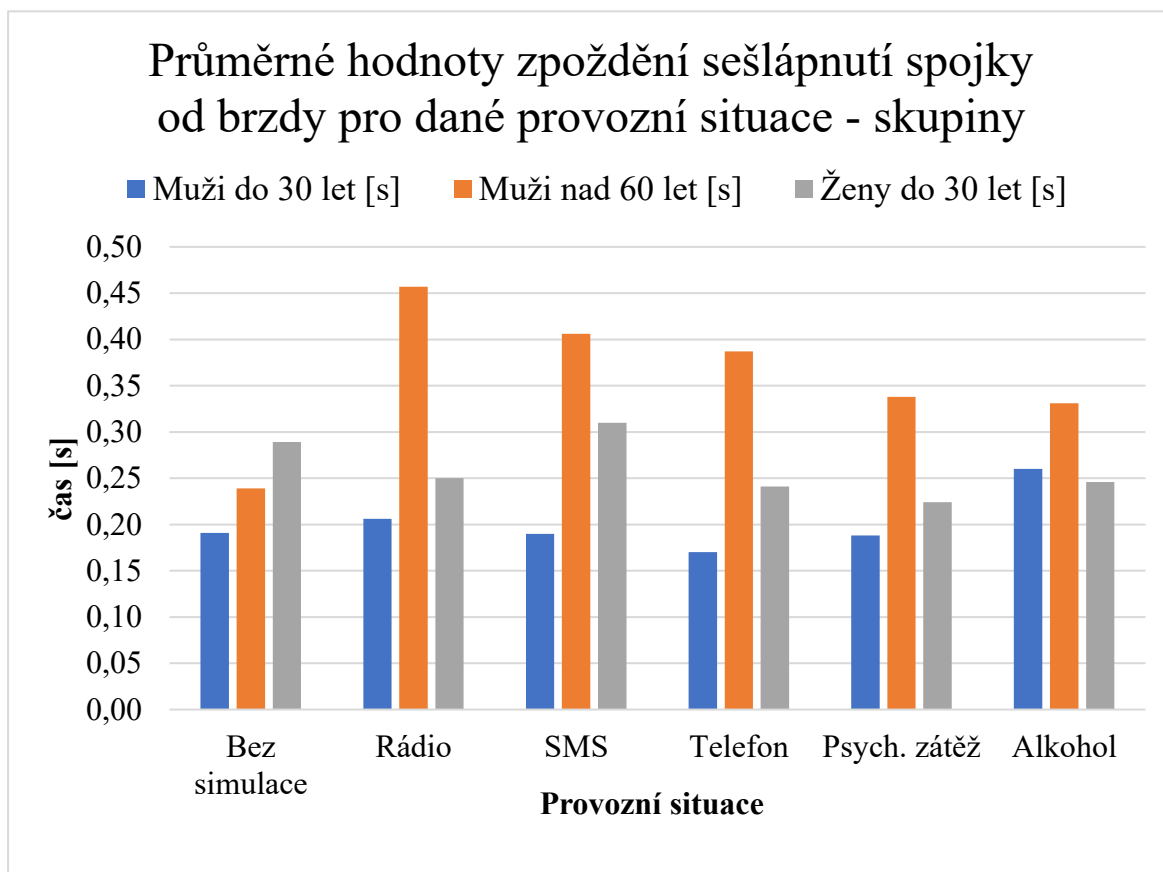
7.3 Zhodnocení reakčních dob – porovnání sešlápnutí spojky mezi skupinami

V následující tabulce a grafu jsou zobrazeny průměrné časy zpoždění sešlápnutí spojky oproti brzdě pro zavedené skupiny řidičů. V žádném měření nenastala situace, že by řidič sešlápnul spojku dříve než brzdu.

Průměrné hodnoty zpoždění brzda – spojka

i	provoz. podm	Muži do 30 let [s]	Muži nad 60 let [s]	Ženy do 30 let [s]
1	Bez simulace	0,191	0,239	0,289
2	Rádio	0,206	0,457	0,250
3	SMS	0,190	0,406	0,310
4	Telefon	0,170	0,387	0,241
5	Psych. zátěž	0,188	0,338	0,224
6	Alkohol	0,260	0,331	0,246

Tabulka 24 Srovnání průměrných zpoždění brzda-spojka mezi skupinami



Graf 6 Srovnání průměrných zpoždění brzda-spojka mezi skupinami

Poznámka – hodnota 0 představuje okamžik sešlápnutí brzdového pedálu

Z přiložené tabulky a grafu vyplývá, že nejkratší průměrnou prodlevu mezi sešlápnutím brzdy a spojky vykazovala skupina řidičů do 30 let, jedinou výjimkou je měření pod vlivem alkoholu, kde tuto prodlevu měla kratší skupina žen do 30 let. U moderních aut je vyšlápnutí spojky při nouzovém brzdění žádoucí z důvodu zachování běhu motoru, který pohání pomocné systémy brzdění.

8 Závěr

Stanoveným cílem práce bylo navrhnout postup pro měření reakčních dob řidičů a za použití tohoto postupu experimentálně zjistit reakční doby pro vybrané provozní situace. Teoretická část práce popisuje reakční dobu řidiče a rozebírá faktory, které mohou reakční dobu prodlužovat. Dále je zde vypracována obecná metodika zjišťování reakčních dob řidičů a návrh zařízení pro vytvoření optického podnětu a následný záznam reakcí.

Pro zjišťování reakčních dob byl zvažován i videozáznam. Měření pomocí této metody se v reálných podmínkách jevilo jako nepřehledné, proto nebyla použita. Pro zjištění reakčních dob jsem navrhnul měřicí zařízení, jehož součástí jsou dva senzory pro brzdový a spojkový pedál a žárovka s vypínačem. Tyto obvody slouží jako vstupy do měřicí karty LabJack U12, která zaznamená změnu napětí na zmíněných obvodech. Zařízení LabJack U12 bylo vybráno z důvodu nedostupnosti původně navrhovaného zařízení Racelogic.

Měření reakčních dob probíhalo za simulace různých provozních podmínek a tyto doby byly následně srovnány s průměrnou reakční dobou řidiče, kdy byl plně soustředěný. Měření se účastnilo celkem 7 řidičů a pro každou zkoumanou situaci proběhlo 5 měření. Včasná reakce je důležitá pro vyhnutí se kolizní situaci, a tato práce poukazuje na prodloužení reakčních dob při působení vybraných provozních situací.

U všech zkoumaných řidičů se potvrdilo, že reakční doba se s vlivem vybraných provozních situací zvyšuje oproti soustředěnému stavu. U mužů řidičů do 30 let byla zjištěna nejpomalejší reakce při měření pod vlivem alkoholu a psaní SMS zprávy. U žen do 30 let naopak alkohol neměl takový vliv, a dokonce byla reakční doba pod vlivem alkoholu nejbližší reakční době za plného soustředění. Ženy však měly problém se zvýšenou psychickou námahou, kdy jejich průměrná reakční doba byla více než dvakrát delší než při soustředěném stavu. Mužům nad 60 let dělalo největší problémy rychle reagovat při psaní SMS zprávy a obsluze rádia. Stejně jako u skupiny žen ale na ně alkohol měl malý vliv. Obecně z naměřených výsledků lze soudit, že vybraných provozních situací nejvíce ovlivňuje reakční dobu psaní SMS zprávy. Nehledě na příslušnost ke skupině se reakční doba při psaní SMS zprávy prodloužila o více než 50 %. Součástí výpočtů byly i směrodatné odchylky a nejistoty měření, které dosahovaly nejvyšších hodnot u mužů nad 60 let.

Součástí experimentu bylo i stanovit dobu mezi sešlápnutím brzdy a spojky. V každém naměřeném případě předchází sešlápnutí brzdy spojce. Sešlápnutí spojky je

průměrně nejvíce opožděno u skupiny mužů nad 60 let, ale ne více než o 0,5 sekund. U moderních automobilů je při nouzovém brždění nutné spojku vyšlápnout z důvodu zajištění chodu motoru pro pohon pomocných systémů.

Navržená metoda měření reakčních dob se ukázala jako jednoduše proveditelná. Touto metodou je měřena délka reakční doby bez vlivu odezvy vozidla, pouze s nízkou nepřesností měřícího zařízení. Byla potvrzena hypotéza, že reakční doba se s věkem prodlužuje. Jednoduchá a přesná metoda měření reakčních dob je důležitá z hlediska využití při zpětném posuzování průběhů a příčin nehodových dějů. Stejně tak je vhodná k určení skutečně technicky možné délky reakční doby.

9 Přehled použitých zdrojů

- [1] Ministerstvo dopravy ČR – Dopravní park. Ministerstvo dopravy ČR – Domovská stránka [online]. Copyright © 2019 Ministerstvo dopravy ČR [cit. 25.04.2019]. Dostupné z: <https://www.mdcz.cz/Statistiky/Silnicni-doprava/Dopravni-park>
- [2] MEDELSKÁ, Viera. *Dopravné inžinierstvo*. Bratislava: Alfa, 1991. Edícia stavebníckej literatúry. ISBN 80-05-00737-X.
- [3] Policie ČR. Statistika nehodovosti. policie.cz [online]. c2017 [vid. 2019-04-22]. Dostupné z <https://www.policie.cz/clanek/statistika-nehodovosti-00835.aspx?q=Y2hudW09Mw%3d%3d>
- [4] Oční pohyb – Wikipedie. [online]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/O%C4%8Dn%C3%AD_pohyb
- [5] Soustava a funkce smyslových orgánů – Wikisofia. [online]. Copyright © 2013 ISSN [cit. 16.05.2019]. Dostupné z: https://wikisofia.cz/wiki/Soustava_a_funkce_smyslov%C3%BDch_org%C3%A1n%C5%AF
- [6] PLCH, Jiří. Reakční doba řidiče. [online]. 2010, [vid. 2019-02-02]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/10899230-Reakni-doba-ridice-jiri-plch-doc-ing-csc-jiri-plch-volnycz.html>.
- [7] BRADÁČ, Albert, Jiří STRAUS a Viktor PORADA. *Soudní inženýrství*. Praha: Policejní akademie České republiky, 2001. ISBN 80-7251-059-2.
- [8] VLK, František. Podvozky motorových vozidel: pneumatiky a kola: zavěšení kol, nápravy: odpružení: řídicí ústrojí: brzdové soustavy. Brno: VLK, 2000. ISBN 80-238-5274-4.
- [9] KROTÁK, Tomáš, Modely chování řidiče. [online], 2010, [vid. 2019-02-02]. Dostupné z http://home.zcu.cz/~rcermak/opvk_cm/M_01.pdf
- [10] PTÁČEK, Petr. Možnosti využití řídicích trenážerů ke znaleckému zkoumání chování řidičů pro účely analýzy silničních nehod. [online] Brno 2001 [vid. 2019-02-02]. Dostupné z : <http://www.vutium.vutbr.cz/tituly/pdf/ukazka/80-214-1956-3.pdf>
- [11] Řízení pod vlivem alkoholu nebo drog. Vliv, statistiky, účinky, odbourávání, testy. Portál o bezpečnosti práce (BOZP) a požární ochraně (PO) [online]. Copyright © 2013 [cit. 11.05.2019]. Dostupné z: <https://www.bezpecnostprace.info/doprava/riseni-pod-vlivem-alkoholu-drog/>
- [12] *The international classification of sleep disorders: diagnostic and coding manual*. 2nd ed. Westchester, Ill.: American Academy of Sleep Medicine, c2005. ISBN 9780965722025

[13] USB měřicí karta LabJack U12 | Vývoj.HW.cz. Vývoj.HW.cz | Vše o elektronice a programování [online]. Copyright © 1997 [cit. 16.05.2019]. Dostupné z:

<https://vyvoj.hw.cz/produkty/usb-merici-karta-labjack-u12.html>

[14] Alkoholmetr.cz - alkoholová kalkulačka a alkohol tester online. Alkoholmetr.cz - alkoholová kalkulačka a alkohol tester online [online]. Copyright © 2019 All rights reserved [cit. 17.05.2019]. Dostupné z: <https://www.alkoholmetr.cz/>

[15] VŠB, Zkoušení stavebních materiálů a výrobků – Zkoušení stavebních materiálů - nejistota měření. 301 Moved Permanently [online]. Copyright © GraFiKh design [cit. 17.05.2019]. Dostupné z:

http://homel.vsb.cz/~khe0007/opory/opory.php?stranka=nejistota_postup

10 Seznam obrázků

Seznam obrázků	
obrázek č. 1	Řez okem
obrázek č. 2	Blokové schéma řidič – vozidlo
obrázek č. 3	Grafické zobrazení brzdění
obrázek č. 4	LabJack U12, 3 zapojené kanály
obrázek č. 5	Schéma zapojení senzorů s měřícím zařízením
obrázek č. 6	Elektrický obvod senzorů zapojený s měřícím zařízením
obrázek č. 7	Měřící zařízení
obrázek č. 8	Měřící zařízení při průběhu experimentu

11 Seznam tabulek a grafů

Seznam tabulek	
tabulka č.1	Příčiny nehod za rok 2017
tabulka č.2	Příčiny smrtelných nehod za rok 2017
tabulka č.3	Délky úseků reakční doby
tabulka č.4	Účinky alkoholu v závislosti na koncentraci v krvi
tabulka č.5	Koeficient Ks pro různé počty měření
tabulka č.6	Měření vzorku 1
tabulka č.7	Průměrné výsledky reakčních dob vzorku 1
tabulka č.8	Měření vzorku 2
tabulka č.9	Průměrné výsledky reakčních dob vzorku 2
tabulka č.10	Měření vzorku 3
tabulka č.11	Průměrné výsledky reakčních dob vzorku 3
tabulka č.12	Měření vzorku 4
tabulka č.13	Průměrné výsledky reakčních dob vzorku 4
tabulka č.14	Měření vzorku 5
tabulka č.15	Průměrné výsledky reakčních dob vzorku 5
tabulka č.16	Měření vzorku 6
tabulka č.17	Průměrné výsledky reakčních dob vzorku 6
tabulka č.18	Měření vzorku 7
tabulka č.19	Průměrné výsledky reakčních dob vzorku 7
tabulka č.20	Průměrné hodnoty reakčních dob skupiny 1
tabulka č.21	Průměrné hodnoty reakčních dob skupiny 2
tabulka č.22	Průměrné hodnoty reakčních dob skupiny 3
tabulka č.23	Srovnání průměrných reakčních dob mezi skupinami
tabulka č.24	Srovnání průměrných zpoždění brzda - spojka mezi skupinami

Seznam grafů	
graf č. 1	Průměrné hodnoty reakčních dob skupiny 1
graf č. 2	Průměrné hodnoty reakčních dob skupiny 2
graf č. 3	Průměrné hodnoty reakčních dob skupiny 3
graf č. 4	Srovnání průměrných reakčních dob mezi skupinami
graf č. 5	Srovnání průměrných reakčních dob mezi skupinami – sloupcový
graf č. 6	Srovnání průměrných zpoždění brzda – spojka mezi skupinami